doi:10.13866/j.azr.2018.05.22

1962—2015 年宁夏平均气温和极端气温的变化特征①

刘学智[1]，李王成[1,2,3]，苏振娟[1]，王 帅[1]，李 晨[1]，王 霞[1]
（1. 宁夏大学土木与水利工程学院，宁夏 银川 750021；
2. 西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室，宁夏 银川 750021；
3. 旱区现代农业水资源高效利用教育部工程研究中心，宁夏 银川 750021）

摘 要：气候环境是生态健康、社会持续发展中不可控因素，而温度是维持气候系统稳定，提供人类宜居环境的重要条件。为明确宁夏地区平均气温与极端气温事件，运用线性倾向、小波分析、相关分析等，对宁夏 1962—2015 年平均气温和极端气温事件进行了分析。结果表明：1962 年以来宁夏全区、北部、中部干旱带及南部山区以 0.38 ℃·(10a)$^{-1}$、0.42 ℃·(10a)$^{-1}$、0.36 ℃·(10a)$^{-1}$、0.38 ℃·(10a)$^{-1}$速度增温；冷暖气温主要存在20～32 a、8～19 a、2～7 a 的周期，主周期 13 a 和 32 a，分别有 8 a 与 20 a 的次周期；极端低温事件频率、持续时长低于高温事件，低温四季增幅大于高温，且冬季变幅更为突出。平均气温和极端高温的升高会加大宁夏地区的干旱程度，加剧全区气候的不平衡性，极端低温指数的减少会增加农田、森林等的病虫害，使生态系统进一步恶化，应做好相应防御措施。

关键词：气温；周期；变化趋势；极端气候指数；宁夏

人类生产生活与气候变化密切相关，近百年来全球气候显著变暖，海陆表面平均温度上升了 0.85 ℃左右，预计 21 世纪末全球平均地表气温将升高 1.1～6.4 ℃[1-2]。气候变化带来的干旱、洪涝、雪灾等灾害日益频繁，极端天气现象造成的经济损失和社会不稳定也在加剧[3]。这对农业生产、作物布局和生态环境等具有重大影响[4]。全球尺度上，极端高温事件和低温事件分布呈增加和减少趋势，多数陆地区域的热浪持续时间、发生频率和强度已经增加。Brown 等[5]认为，全球暖夜数显著增加，霜冻日数减少，温度较差显著减少，地区变化速率差异性显著。我国对区域极端气温事件研究取得了重要进展，表明霜冻、结冰、冷夜和冷昼日数显著减少，暖夜、暖昼日数显著增多[6]。我国华北、西北、西南、长江及黄河流域等地区极端气温变化与全国相一致[7-9]。王晓娟等[10]认为，西北区域为全国冬季两大极端低温事件中心之一；Deng 等[11]认为，西北极端低温、高温呈上升趋势，1986 年左右发生突变。宁夏地区干旱少雨、蒸发强烈、下垫面复杂多变，区域内形成了多种气候类型，是极端气候事件频发的地区[12]，极端气候事件对宁夏的水资源、生态环境和社会发展造成了重要影响。以往学者虽对宁夏的极端降水事件、极端气温事件以及极端气候阈值等方面进行了研究[13-14]，但针对宁夏平均气温变化周期、极端气温的变化特征还需进一步的认识。笔者运用线性倾向、小波分析、M-K 检验等方法，分析了宁夏 1962—2015 年平均气温和极端气温的变化规律，为预测和预防宁夏地区极端事件灾害、指导农业发展、利用自然资源和保护生态环境提供参考依据。

1 研究区概况

宁夏是我国地形地貌较为复杂的地区之一，包含了山脉、高原、平原、丘陵、河谷等。其深居内陆，属大陆性半湿润半干旱气候。雨雪稀少，气候干燥，风大沙多。农业气象灾害频繁发生，对农业造成了极大损失。为进一步明确宁夏气温及其极端事件的变化特征，本文选取 1962—2015 年宁夏 9 个气象站逐日最高/最低气温及年平均气温资料，基于 R 语言的RClimdex计算“世界气象组织”推荐的其中14

① **收稿日期**：2018-01-23； **修订日期**：2018-05-30
基金项目：国家自然科学基金项目(51569022)资助
作者简介：刘学智(1993-)，男，硕士研究生，研究方向为农业水资源高效利用. E-mail：1375084511@qq.com
通讯作者：李王成. E-mail：liwangcheng@126.com

个极端气温指标,从时间尺度上对气温和极端事件的变化特征及未来趋势进行了分析。

2 材料与方法

2.1 数据来源

利用中国气象网的气温资料,选取宁夏惠农、银川、陶乐、中宁、盐池、海原、同心、固原、西吉 9 个站点的逐日最高、最低和年平均气温,通过 RClimDex 重新进行质量控制:① 最低气温大于最高气温的按缺测值处理;② 超出均值 3 倍标准差的记为出界值,根据相邻台站的记录进行人工处理。为了方便进行空间分析,根据中国气象地理区划及宁夏地理区划,结合前人研究将其划分为宁夏引黄灌区、中部干旱带、南部山区。气象站及分区图如图 1 所示。

2.2 研究方法

基于 RClimdex 软件,通过逐日最高/最低气温、年平均气温计算 14 个表征温度意义的极端气候指数,按照气候分析通用方法,结合前人划分基础,将表征温度意义的极端气候指数分为 4 种类型[15](表 1)。采用线性倾向率法、距平法、滑动平均法等对气温变化趋势与突变进行了分析;通过 Morlet 小波分析对气温序列变化的周期进行了分析。

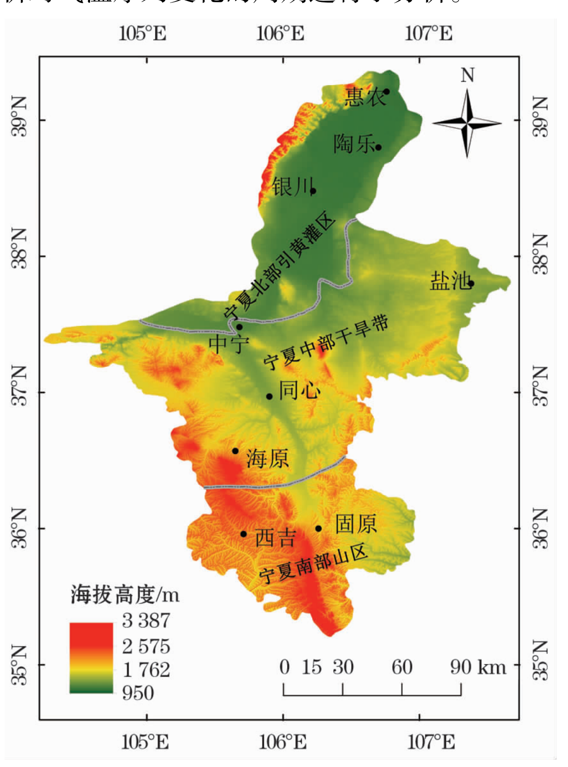


图 1 研究区站点及气候区划

Fig. 1 Distribution of meteorological stations and climatic regionalization in the study area

表 1 表征温度意义的极端气候指数分类与定义

Tab. 1 Classification and definitions of extreme climatic indexes

类别	名称(缩写)	定义	单位
绝对指数	霜冻日数(FDO)	一年日最低气温 <0 ℃的日数	d
	结冰日数(IDO)	一年日最高气温 <0 ℃的日数	d
	夏日日数(SU25)	一年日最高气温 >25 ℃的日数	d
	炎热夜数(TR20)	一年日最低气温 >20 ℃的夜数	d
相对指数	冷夜/昼日数(TN/TX10P)	日最低/高气温 <10% 分位值的日数	d
	暖夜/昼日数(TN/TX90P)	日最低/高气温 >90% 分位值的日数	d
持续性时间指数	热持续指数(WSDI)	连续 6 日最高气温在 90% 分位值日数	d
	冷持续指数(CSDI)	连续 6 日最低气温在 10% 分位值日数	d
	作物生长期(GSL)	连续 6 日 >5 ℃的时间跨度	d
平均指数	年/月最高气温平均值(TMAX)	最高气温年/月平均值	℃
	年/月最低气温平均值(TMIN)	最低气温年/月平均值	℃
	气温日较差(DTR)	日最高气温与日最低气温之差	℃

3 结果与分析

3.1 平均气温变化

3.1.1 平均气温变化趋势分析　平均气温是研究气温变化的基础,对年平均气温分析可以明确地区气温变化的基本趋势。图 2 为 1962—2015 年宁夏平均气温年际变化趋势。由原始数据线性回归、标准距平、滑动平均看出,54 a 来宁夏地区平均气温明显上升。全区平均气温变化率为 0.38 ℃·$(10a)^{-1}$,多年平均气温为 8.19 ℃,其中有 24 a 平均气温高于多年气温均值。1962—1988 年平均气温距平值均为负值,且 1967 年达到峰值,1995 年开始标准距平为正值,平均气温逐年增大,且 1998 年达正峰值。宁夏北部、中部、南部均上升,年际气候倾向率分别为 0.42 ℃·$(10a)^{-1}$、0.36 ℃·$(10a)^{-1}$、0.38 ℃·$(10a)^{-1}$,多年气温均值分别为 9.29 ℃、7.97 ℃、7.50 ℃。其中,北部有 24 a 的平均气温高于多年气温平均值,中部与南部分别有 21 a与 22 a 气温高于多年平均值,且 1997 年之后均大于多年平均值;宁夏北部、中部、南部年际平均气温标准距平值均在 1998 年达到正峰值,出现年平均最高气温。

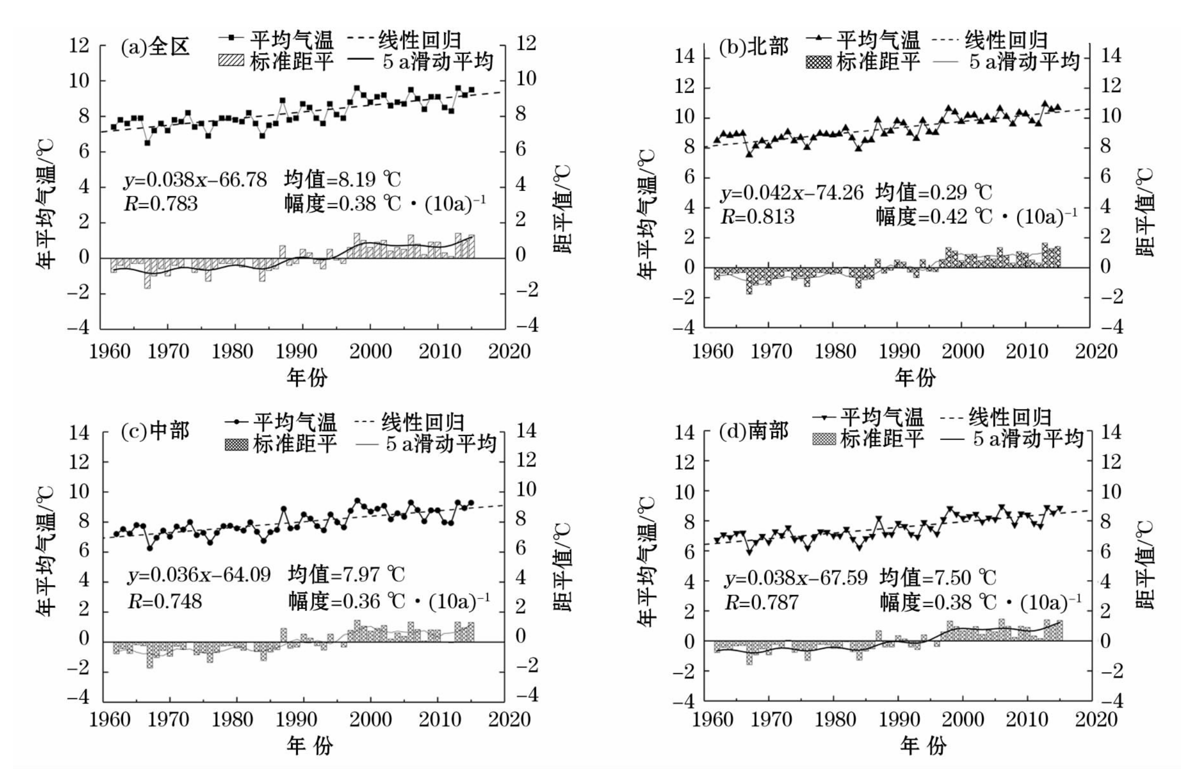


图 2 1962—2015 年宁夏平均气温趋势

Fig. 2 Trend of average air temperature in Ningxia during the period from 1962 to 2015

3.1.2 平均气温周期规律分析 本文采用 Morlet 复小波来分析宁夏气温时间序列的尺度特征,揭示宁夏气温在不同时间尺度中的变化趋势。如图 3a 所示,气温冷—暖演变过程中主要有 20～32 a、8～19 a、2～7 a 的不同周期。在 20～32 a 时间尺度上,该区主要经历了 1984 年偏暖期向偏冷期过渡及 1994 年的回暖;8～19 a 时间尺度经历了 1970 年前的偏冷期,1970—1982 年的偏暖期,1982—1987 年的偏冷期,1987—1992 年的偏暖期,1992—1997 年的偏冷期及 1997 年之后的偏冷期;而 2～7 a 尺度的变换在 1975 年之后表现较为稳定,未出现较大的波动。图 3b 为气温变化周期能量密度在时间域中的分布情况:20～32 a 的时间尺度周期变化最明显;10 a 以下时间尺度模值最小,该周期变化不显著;其他时间尺度表现出了周期变化不稳定。方差图 3c 表明,宁夏气温主要有 32 a、13 a 和 6 a 的时间尺度。说明 32 a、13 a 和 6 a 分别对应的时间尺度为第一、二、三主周期。由图 3d 可以得出:在不同时间尺度下,年平均气温存在平均周期与冷—暖更换的特征,在第二主周期尺度上,气温变化主要存在约 8 a的次周期,经历了 6 个冷—暖更迭;32 a 时间尺度的平均变化期在 20 a 左右,约经历 2 个周期的冷—暖交替。

3.2 表征温度意义的极端气候指数变化

3.2.1 表征温度意义的极端气候指数年代/际特征

(1) 绝对指数变化

随全球变暖过程的持续,极端气温事件频繁发生,绝对指数对气温系统具有较大影响。如图 4 和表 2 所示,霜冻天数(FD0)、结冰天数(ID0)年际变化逐渐减少,倾向率分别为 -4.44 d·(10a)$^{-1}$、-3.03 d·(10a)$^{-1}$,54 a 间,霜冻与结冰天数减少 15 d 以上;暖事件夏季天数(SU25)与炎热夜数(TR20)均增加,年际变化斜率分别为 3.33 d·(10a)$^{-1}$、1.45 d·(10a)$^{-1}$。距平表明 FD0 在 20 世纪 70 年代呈增加趋势,80 年代开始逐渐减少;ID0 在 80 年代以前呈减少趋势,而进入 21 世纪具有微弱的增加迹象;SU25 表现出了整体增加局部浮动的趋势,而 TR20 在 1962—2015 年呈显著增加趋势,导致夜间高温明显。

(2) 相对指数变化

由图 4 和表 2 可知,冷夜/昼(TN10/TX10)日数均显著减少,年际变化斜率分别为 -4.29 d·(10a)$^{-1}$与 -2.11 d·(10a)$^{-1}$,变化值在 23 d 与 11 d 左右;而暖夜/昼(TN90/TX90)显著增加,斜率为 4.51 d·(10a)$^{-1}$、3.13 d·(10a)$^{-1}$,增幅约 24 d 与 17 d。表明宁夏气温偏冷指数减小,而偏暖指数增

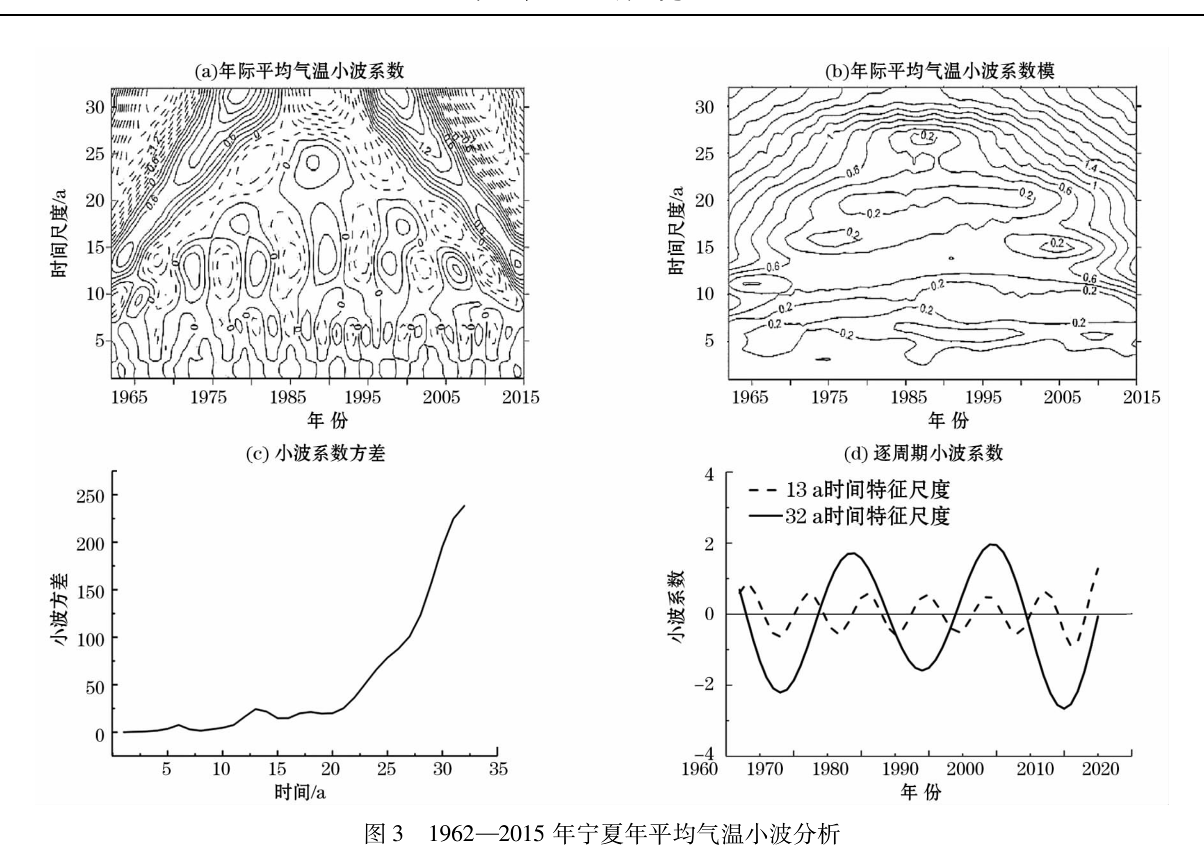


图 3 1962—2015 年宁夏年平均气温小波分析

Fig. 3 Wavelet analysis of average annual air temperature in Ningxia during the period from 1962 to 2015

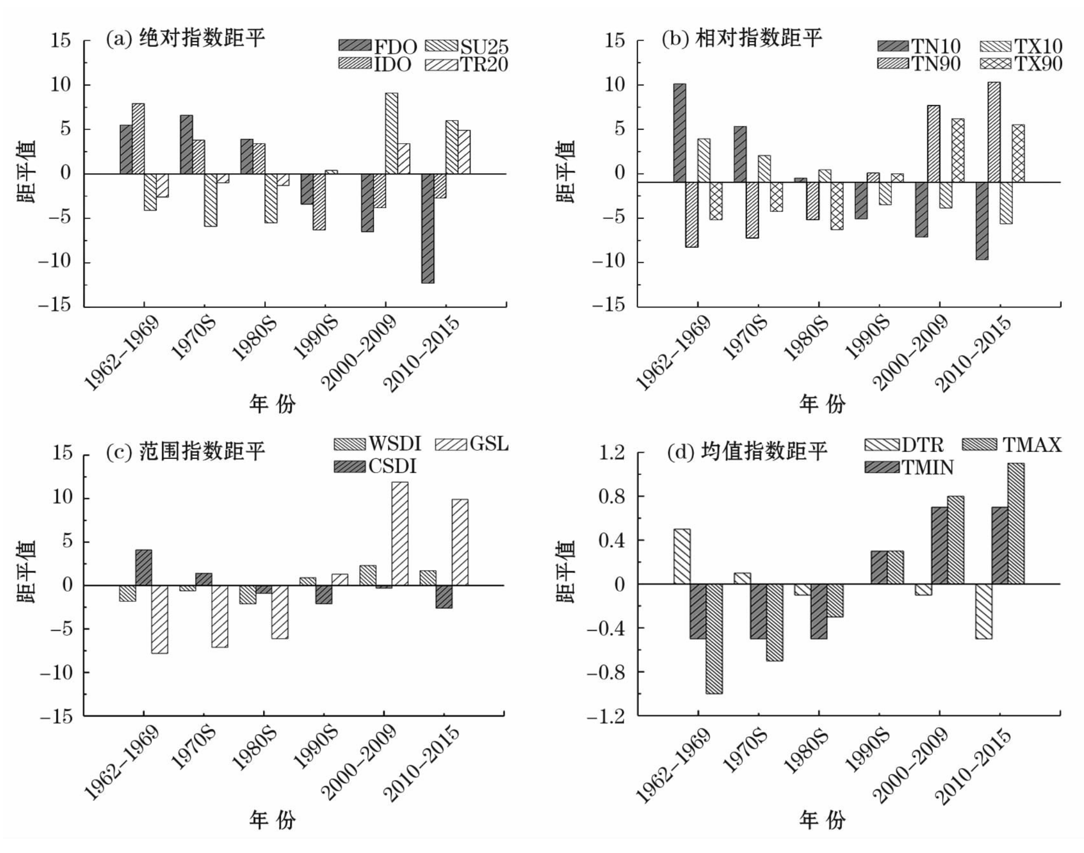


图 4 1962—2015 年宁夏表征温度意义的极端气候指数年代距平

Fig. 4 Decadal anomalies of extreme climatic indexes characterizing temperature signification in Ningxia during the period of 1962 – 2015

表 2　1962—2015 年宁夏表征温度意义的极端气候指数年际 M-K 趋势

Tab. 2　Interannual M-K trend of extreme climatic indexes characterizing temperature signification in Ningxia during the period of 1962 – 2015

M-K 检验	FD0	ID0	SU25	TR20	WSDI	CSDI	GSL
Z 值	-5.991	-2.783	3.797	4.529	0.888	-4.991	4.349
幅度/[d·(10a)$^{-1}$]	-0.444	-0.303	0.333	0.145	0.073	-0.111	0.444
变化趋势	↓	↓	↑	↑	↑	↓	↑
M-K 检验	TN10	TN90	TX10	TX90	TDR	TMAX	TMIN
Z 值	-6.990	6.259	-4.141	4.260	-3.380	4.618	7.140
幅度/[d·(10a)$^{-1}$]	-0.429	0.451	-0.211	0.313	-0.016	0.030	0.048
变化趋势	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↑
置信水平				0.005			

增加。由年代距平分析结果可以得出,冷夜与冷昼在年代间均显著下降,但在速率上有变缓趋势,而暖夜 TN90p 的变化特征则相反;对比这 3 个指数的变化特征,发现暖昼整体上增加,局部震荡,即在 20 世纪 80 年代与 2010—2015 年间由增加突变为减少,增加极端气温的不稳定性。

(3) 持续性时间指数变化

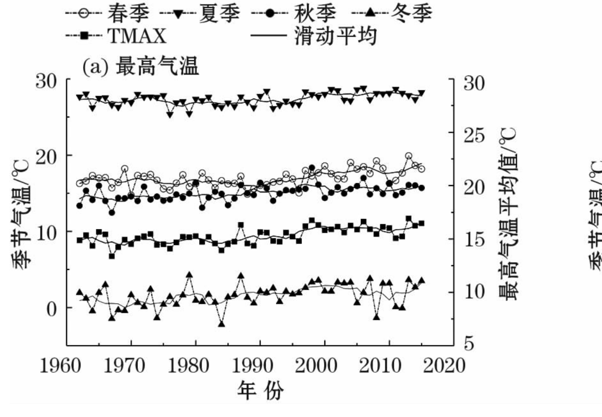
作物生长期(GSL)与热持续指数(WSDI)显著上升,幅度分别为 4.44 d·(10a)$^{-1}$ 和 0.73 d·(10a)$^{-1}$,增值为 24 d、4 d 左右,表明升温在一定程度上对作物生产期有促进作用;相反,冷持续指数(CSDI)则在时间尺度内显著减少,年际变化率为 -1.11 d·(10a)$^{-1}$,相应减少日数为 6 d 左右。即 GSL 变化强烈,且进入 2000 年增加趋势更突出,年代幅度在 10 d 左右,但从 2010 年开始减少;而冷暖持续指数(CSDI、WSDI)在年代间有波动变化:CSDI 整体减少,但在 2000—2009 年其表现出了增加趋势,对 GSL 产生了内在影响;WSDI 则在 20 世纪 80 年代和 2010—2015 年局部减少。

(4) 平均值指数变化

年最高气温平均值(TMAX)和年最低气温平均值(TMIN)及日气温差(DTR)更能反映气温极端事件的变化特征。由图 4 与表 2 可知,DTR 在11.53 ~ 14.23 ℃之间波动,1962 年开始逐渐减小,年际变化率为 -0.16 ℃·(10a)$^{-1}$,54 a 减少了 0.86 ℃;TMAX 和 TMIN 均呈增加趋势,年际气温倾向率分别为 0.30 ℃·(10a)$^{-1}$、0.48 ℃·(10a)$^{-1}$,变化幅度分别为 1.62 ℃、2.59 ℃左右。DTR 在 20 世纪 90 年代呈持续减少趋势,但到 2000—2009 年其表现出了增大的突变情况,到 2010 年之后有延续前期的减少趋势;TMAX 年代变化较为平稳:在 80 年代之前均保持在 -0.5 ℃, 90 年代之后开始增加,进入 21 世纪其维持在 0.7 ℃左右,预计未来年代际气温会稳中上升;而 TMIN 则呈近似线性增加,并且增加趋势显著。

3.2.2　表征温度意义的极端气候指数季节性变化

通过年最高/最低气温平均值,来分析极端气温季节性变化。由图 5 和表 3 可知,1962—2015 年四



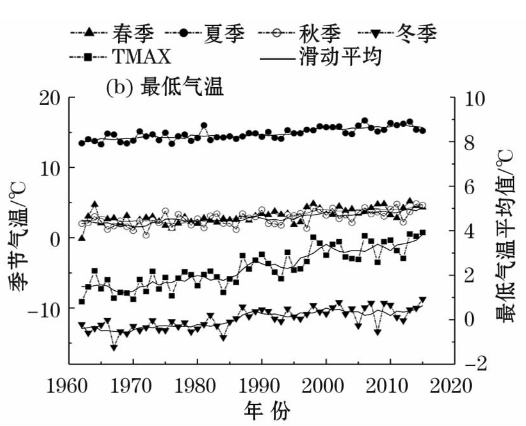


图 5　1962—2015 年宁夏表征温度意义的极端气候指数季节性变化趋势

Fig. 5　Seasonal trend of extreme climatic indexes characterizing temperature signification in Ningxia during the period of 1962 – 2015

表 3　1962—2015 年宁夏表征温度意义的极端气候指数季节变化趋势

Tab. 3　Seasonal trend of extreme climatic indexes characterizing temperature signification in Ningxia during the period of 1962—2015

M-K 检验	TMAX 平均值				TMIN 平均值			
	春季	夏季	秋季	冬季	春季	夏季	秋季	冬季
Z 值	3.514	3.126	4.126	3.470	5.304	6.080	4.648	5.648
幅度/[℃·(10a)$^{-1}$]	0.034	0.020	0.035	0.049	0.048	0.043	0.041	0.072
变化趋势	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
置信水平				0.005				

表 4　1962—2015 年宁夏表征温度意义的极端气候指数季节性年代的距平值

Tab. 4　Anomalies of extreme climatic indexes characterizing temperature signification in Ningxia during the period of 1962—2015

时 段	TMAX 平均值				TMIN 平均值			
	春季	夏季	秋季	冬季	春季	夏季	秋季	冬季
1962－1969 年	－0.158	－0.245	－0.795	－0.908	－0.561	－0.941	－0.736	－1.604
1970s	－0.581	－0.333	－0.485	－0.436	－0.879	－0.5	－0.629	－1.083
1980s	－0.656	－0.467	－0.282	－0.499	－0.489	－0.29	－0.269	－0.218
1990s	－0.234	－0.05	0.688	0.688	0.361	0.106	0.139	0.773
2000－2009 年	1.082	0.662	0.372	0.637	0.894	0.747	0.57	1.048
2010－2015 年	0.905	0.68	0.611	0.576	0.955	1.129	1.264	1.304

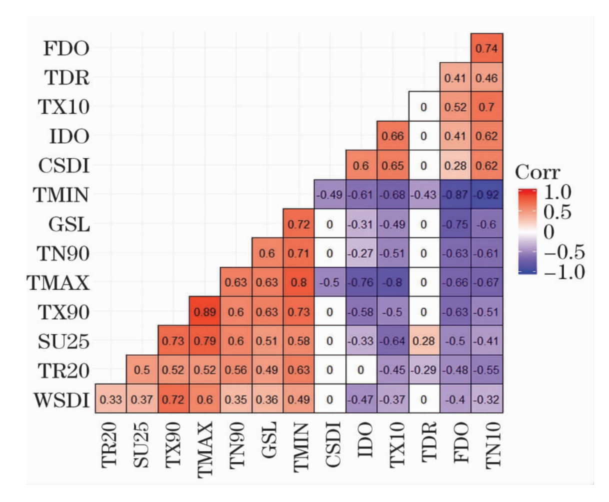


图 6　表征温度意义的极端气候指数相关性

Fig. 6　Correlations of extreme climatic indexes characterizing temperature signification

季平均最高/最低气温均增加。TMAX 四季变幅由小到大为：夏季[0.2 ℃·(10a)$^{-1}$]、春季[0.34 ℃·(10a)$^{-1}$]、秋季[0.35 ℃·(10a)$^{-1}$]、冬季[0.49 ℃·(10a)$^{-1}$]，其中春季和秋季变幅相近，而冬季的变幅更为突出。TMIN 变化幅度由小到大为：秋季[0.41 ℃·(10a)$^{-1}$]、夏季[0.43 ℃·(10a)$^{-1}$]、春季[0.48 ℃·(10a)$^{-1}$]、冬季[0.72 ℃·(10a)$^{-1}$]，表现出了冬季大幅增温。从相应季节变化阈值可见，TMIN 四季增温幅度均大于 TMAX，且两者冬季变化更明显，这也是年值均增加的主要原因。

为进一步明确表征温度意义的极端气候指数季节性的年代变化趋势，计算了年代距平值，如表 4 所示：TMAX 春季距平在 20 世纪 90 年代前持续减小，而后逐渐增加，在 2000—2009 年达到最大值；夏季距平变化与春季基本一致，20 世纪 90 年代至 2000 年表现出了较大的突变性；秋季呈明显的线性上升，在 2000—2009 年突然下降，之后又回升；冬季指数变化趋势基本与秋季相同，在整个时间轴上表现为缓慢上升。最低气温年代变化：年内四季变化均增加。值得注意的是秋季最低气温平均值存在一定波动，但整体呈增加的趋势。对比 TMAX 与 TMNIN 的季节性年代变化，可以发现在 20 世纪末 21 世纪初，两者表现出了相反趋势。这与 21 世纪全球变暖更明显的结论较为相符。

3.2.3　表征温度意义的极端气候指数相关性　采用 R 语言 Spearman 相关分析法，对宁夏近 54 a 表征温度意义的极端气候指数的相关性进行了分析(图 6)。结果表明：极端气温指标 GSL、WSDI、TR20、SU25、TX90、TN90 及 TMAX、TMIN 之间均呈显著正相关，TX90 和 TMAX 相关性最高，达到0.89；CSDI、IDO、DTR、FDO 及 TX10、TN10 与前者的相关性，除 DTR 与 SU25、TX90、TMAX 具有微相关外，其

余均呈负相关,且 TN10 与 TMIN 达到了极负相关(－0.92);CSDI、ID0、DTR、FD0 及 TX10、TN10 间的相关性除 DTR 与 ID0、TX10 有弱负相关,其余均呈正相关。DTR、CSDI 与 GSL、WSDI、TR20、SU25、TX90、TN90 及 TMIN 均不相关,今后宁夏极端指数研究的 DTR 和 CSDI 不应作为重点。

4 结论与讨论

(1) 1962—2015 年宁夏地区多年平均气温呈上升趋势。宁夏全区、北部灌区、中部干旱带和南部山区分别以 0.38 ℃·$(10a)^{-1}$、0.42 ℃·$(10a)^{-1}$、0.36 ℃·$(10a)^{-1}$、0.38 ℃·$(10a)^{-1}$的速度增温,且近 20 a 增温效果更为明显。

(2) 冷—暖气温演变的长短周期有 20～32 a、8～19 a、2～7 a 年;20～32 a 周期变化最显著,10 a 以下周期特征较平稳;主周期 13 a 和 32 a 分别存在着 8 a 与 20 a 的次周期。

(3) 表征温度意义的极端气候指数变化特征表明,1962—2015 年极端气温冷指标和日较差呈下降趋势,极端暖指标均呈上升趋势。极端高温事件发生频率、增幅明显高于极端低温事件;低温事件四季增温幅度大于高温,且两者冬季的增幅更为突出。

影响气温变化的因素很多,且不同区域差异较大。就宁夏地区而言,气候分异的原因可能是地形因素造成的:宁夏北部多处于河套平原,中部干旱带降雨稀少、蒸发强烈,南部山区多为黄土丘陵区。有学者认为大气动力是中纬度地区气候变化的主要驱动力[16]。如西伯利亚西、北部春季的冷夜日数减少与偏北气流减少有关,南部暖昼日数增加与西南气流增多有关[17]。You 等[18]认为,夏季气旋在亚洲大陆的蒙古和贝加尔湖的加强,削弱了来自中国北部的西风急流,使宁夏持续干旱天数上升。另外,低气温的持续走低可能与 AO 有关。关学峰等[19]指出,1990 年之前 AO 指数呈增长态势,而后呈显著下降趋势;除此之外,可能与海拔、太阳黑子、月亮潮汐、中纬度西风和北大西洋涛动等有关。

参考文献(References):

〔1〕 Meehl G A, Tebaldi C. More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century〔J〕. Science, 2004, 305: 994－997.

〔2〕 IPCC. Climate change 2013: Managing the Risks of Extreme Events and Disaster to Advance Climate Change Adaptation〔M〕. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

〔3〕 陈建宇,赵景波. 1960—2014 年内蒙古极端天气事件趋势分析〔J〕. 干旱区研究, 2017, 34(5): 997－1 009.〔Chen Jianyu, Zhao Jingbo. Trends of extreme weather events in Inner Mongolia during the period of 1960－2014〔J〕. Arid Zone Research, 2017, 34(5): 997－1 009.〕

〔4〕 Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, et al. Climate Change 2001: The Scientific Basic〔M〕. Cambridge: Cambridge University Press, 2001: 156－159.

〔5〕 Brown S J, Caesar J, Ferro C A T. Global changes in extreme daily temperature since 1950〔J〕. Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 2008, 113(D5): 1－11.

〔6〕 任国玉,封国林,严中伟. 中国极端气候变化观测研究回顾与展望〔J〕. 气候与环境研究, 2010, 15(4): 337－353.〔Ren Guoyu, Feng Guolin, Yan Zhongwei. Progresses in observation studies of climate extremes an d changes in main land China〔J〕. Climatic and Environment al Research, 2010, 15(4): 337－353.〕

〔7〕 李佳秀. 西北干旱区极端气候事件的变化特征与时空分布规律〔D〕. 乌鲁木齐:新疆大学, 2015.〔Li Jiaxiu. Variation and Temporal and Spatial Distribution of Extreme Climate Events in the Arid Area of Northwest China〔D〕. Urumqi: Xinjiang University, 2015〕

〔8〕 刘琳,徐宗学. 西南 5 省市极端气候指数时空分布规律研究〔J〕. 长江流域资源与环境, 2014, 23(2): 294－301.〔Liu Lin, Xu Zongxue. Spationtemporal distribution of extreme climate indices in the five Southwestern Provinces of China〔J〕. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2014, 23(2): 294－301.〕

〔9〕 吴灿,赵景波,王格慧. 黄河流域表征温度意义的极端气候指数的气候演变特征分析〔J〕. 中国农业气象, 2015, 36(5): 525－535.〔Wu Can, Zhao Jingbo, Wang Gehui. Characteristic analysis of the climatic revolution in the Yellow River extreme temperature index〔J〕. Chinese Journal of Agrometeorology, 2015, 36(5): 525－535.〕

〔10〕 王晓娟,沈柏竹,龚志强,等. 中国冬季区域性极端低温事件分类及其与气候指数极端性的联系〔J〕. 物理学报, 2013, 62(22): 438－448.〔Wang Xiaojuan, Shen Baizhu, Gong Zhiqiang, et al. The classification of winter regional extreme low temperature events in China and their corresponding relationship to climatic indices extreme anomaly〔J〕. Acta Physica Sinica, 2013, 62(22): 438－448.〕

〔11〕 Deng H J, Chen Y N, Shi X, et al. Dynamics of temperature and precipitation extremes and their spatial variation in the arid region of Northwest China〔J〕. Atmospheric Research, 2014, 138: 346－355.〕

〔12〕 薛红喜,孟丹,吴东丽,等. 1959—2009 年宁夏极端温度阈值变化及其与 AO 指数相关分析〔J〕. 地理科学, 2012, 32(3): 380－385.〔Xue Hongxi, Meng Dan, Wu Dongli, et al. Extreme temperature threshold changes and its association with AO index in Ningxia Hui Autonomous Region of China in 1959－2009〔J〕. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(3): 380－385〕

〔13〕 孔祥伟,陶健红. 近 51 a 甘肃夏季气温和降水极端事件变化〔J〕. 干旱区研究, 2012, 29(6): 965 －971.〔Kong Xiangwei, Tao Jianhong. Change of extreme temperature and precipitation events in Gansu Province in summer in recent 51 years〔J〕. Arid Zone Research, 2012, 29(6): 965 －971.〕

〔14〕 杨建玲,冯建民,闫军,等.宁夏高温气候特征及其大气环流异常分析〔J〕.中国沙漠,2012,32(5):1 417－1 425.〔Yang Jianlin,Feng Jianming,Yan Jun,et al. Ningxia high-temperature climatic characteristics and analysis of abnormal atmospheric circulation〔J〕. Journal of Desert Research,2012,32(5):1 417 － 1 425.〕
〔15〕 杨晓静,徐宗学,左德鹏,等.云南省 1958—2013 年极端气温时空变化特征分析〔J〕.长江流域资源与环境,2016,25(3):524－536.〔Yang Xiaojing,Xu Zongxue,Zuo Depeng,et al. Spatiotemporal characteristics of extreme air temperature in Yunnan Province during 1958 －2013〔J〕. Resources and Environment in the Yangtze Basin,2016,25(3):524－536.〕
〔16〕 龚道溢,韩晖.华北农牧交错带夏季极端气候的趋势分析〔J〕.地理学报,2004,59(2):230－238.〔Gong Daoyi,Han Hui. Study on the trend of extreme weather in the summer of Beijing and China〔J〕. Acta Geographica Sinica,2004,59(2):230－238〕
〔17〕 Fernandez-Montes S,Rodrigo F S,Seubert S,et al. Spring and summer extreme temperatures in Iberia during last century in relation to circulation types〔J〕. Atmospheric Research,2013,127:154－177.
〔18〕 You Q L,Kang S C,Aguilar E,et al. Changes in daily climate extremes in China and their connection to the large scale atmospheric circulation during 1961 －2003〔J〕. Climate Dynamics,2011,36(11/12):2 399－2 417.
〔19〕 关学锋,孙卫国,李敏姣,等.1965—2012 年新疆北部地区气候变化及其对北极涛动的响应〔J〕.干旱区研究,2016,33(4):26－28.〔Guan Xuefeng,Sun Weiguo,Li Minjiao,et al. Climate change in North Xinjiang and its response to Arctic Oscillation during the period of 196 －2012〔J〕. Arid Zone Research,2016,33(4):26－28.〕

Change of Mean Temperature and Extreme Temperature in Ningxia during the Period of 1962—2015

LIU Xue-zhi[1], LI Wang-cheng[1,2,3], SU Zhen-juan1, WANG Shuai[1], LI Chen[1], WANG Xia[1]

(1. *School of Civil and Hydraulic Engineering*, *Ningxia University*, *Yinchuan* 750021, *Ningxia*, *China*;
2. *Key Laboratory of Degenerated Ecosystem Restoration and Reconstruction in Northwest China of Ministry of Education*, *Yinchuan* 750021, *Ningxia*, *China*;
3. *Efficient Utilization of Water Resources in Modern Agriculture in Arid Area*, *Ministry of Education*, *Yinchuan* 750021, *Ningxia*, *China*)

Abstract: Climate environment is one of the most volatile factors in ecological health and sustainable social development. Temperature is important for maintaining the stability of climate system and providing a livable environment for human beings. In this study, the linear temperature trend, wavelet analysis and correlation analysis were used to analyze the change of average temperature and extreme temperature events in Ningxia during the period from 1962 to 2015. The results showed that the values of average temperature in whole Ningxia, the northern and central arid zones and the southern mountainous regions since 1962 were 0.38 °C · $(10a)^{-1}$, 0.42 °C · $(10a)^{-1}$, 0.36 °C · $(10a)^{-1}$ and 0.38 °C · $(10a)^{-1}$ respectively. There were the 20－32 a, 8－19 a and 2－7 a periods of temperature fluctuation, and also the 8 a and 20 a sub-periods in the 13 a and 32 a main periods, respectively. The occurring frequency of extremely low temperature was lower than that of extremely high temperature, the duration of the former was shorter than that of the latter, the seasonal increase of low temperature was higher than that of high temperature, and the temperature fluctuation was the most significant in winter. The drought degree in Ningxia became more serious due to the increase of both average temperature and extremely high temperature, and the plant diseases and insect pests were increased because of the unbalanced climate change and the reduction of extremely low temperature, thus the ecosystems were further degenerated, so it is necessary to take some improvement measures.

Key words: temperature; period; change trend; extreme climate index; Ningxia